

보일러 증기발생기 수위 제어 시스템 설계에 관한 연구

허성광 박익수 황재호 *김은기
한국전력공사 기술연구원 자동제어연구실

A study on the design of level control system for boiler drum

Sung-kwang Hur Ik-soo Bak Jae-ho Hwang *Eun-gee Kim
Dept. of automation & control Research Center KEPSCO

Abstract

In this paper, the design of boiler drum level control system which is important in power plant is studied. First of all, pressure compensation of level for boiler drum which is close tank with high temperature and pressure is designed. Physical phenomena of drum level are analysed, controllers are designed, and simulation results are shown. Designed controller have a good performance compare with PI controller. Predictive controller of boiler drum level control system is proposed. It will be good system for boiler drum level control to reject the disturbance according to load increase or decrease.

1. 서론

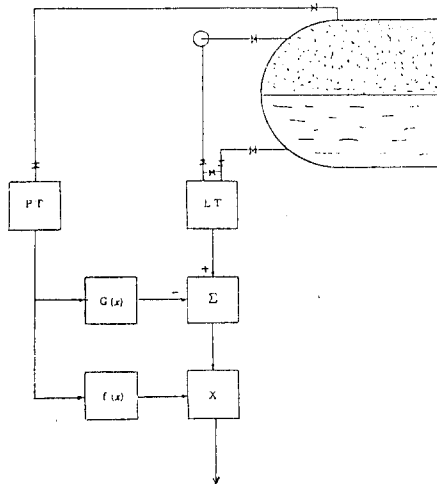
발전소 보일러 제어 시스템에서 드럼수위(Drum level) 제어는 아주 중요하다. 만일 드럼수위 제어가 불안정 하면, 급수펌프(Feedwater pump)의 속도가 불안정 하게되어 보일러 증기온도재료가 불안정하게 되고, 증기온도의 변화는 보일러 증기의 증기 압력을 변화 시켜 보일러 안전 제어(AFC) 시스템을 불안정하게 한다. 결국 드럼수위 제어의 불안정한 발전소 전체 제어 시스템을 불안정 하게 한다. 또한 드럼수위가 과도하게 높으면 물이 터빈(turbine)에 유입되어 터빈 날개(Turbine blade)를 상하게 하고, 드럼수위가 과도하게 낮으면 보일러 관(Boiler tube)을 과열시켜 파열 시킨다. 최근 화력 발전소의 용량은 500 MW 급으로 대용량화 함에따라 제어시스템도 복잡하게 되었고, 드럼 내부의 압력 온도도 고온 고압이 되어 수위측정 자체에도 오차가 많으며, 압력에 따른 드럼수위는 복잡한 비선형의 함수로 표현되기 때문에 제어하기의장에도 어렵다.

본 논문에서는 2장에서 드럼수위의 정밀 측정에 대해 알아 보고, 3장에서는 드럼 수위의 물리적 현상에 따른 모델링과 선형화를 통해서 보일러 드럼의 특성을 파악하고 [1], 4장에서는 인전 화력 발전소의 보일러 드럼 수위 제어 시스템을 설계하여 시뮬레이션 결과를 보였다.

2. 드럼 수위의 측정

드럼 수위 제어를 위해서는 우선 정밀한 수위측정이 요구된다.

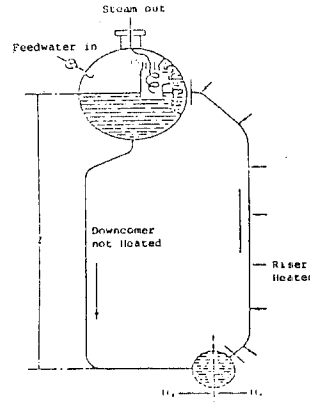
2.1 드럼수위 측정 및 전송기 설치[12]



< 그림 2.1 > 드럼 수위 전송기 설치도
< 그림 2.1 > Install diagram of drum level transmitter

3. 드럼 시스템의 모델링과 선형화 및 최적제어

3.1 보일러 드럼 시스템의 물리적 현상



< 그림 3.1 > 급수순환 시스템
< Fig 3.1 > water circulation system

3.2 평형 방정식 (Balance equation)

드럼 내에서의 증기에 대한 질량 평형식 (Mass balance equation) 은

$$\frac{d}{dt} (\rho_w V_w) = Xr q - q_s \quad (3.1)$$

여기서 증기량 $V_w = V_c - V_w - a V_r$ (3.2) 로 주어진다.

시스템에서의 물에 대한 질량 평형식은

$$\frac{d}{dt} (\rho_w V_w) = q_r w - q_s \quad (3.3)$$

상승관 내에서의 증기에 대한 질량 평형식은

$$\frac{d}{dt} (\rho_s a V_r) = P/h_c - Xr q \quad (3.4)$$

P/h_c 는 증발에 의해 생긴 증기를 나타내고, $Xr q$ 는 출력에서의 총 증기량을 나타낸다. 방정식 (3.4)에서 연료의 에너지는 상승관에서 직접적으로 물로 변환된다. 순환량 (Circulation flow) q 는 운동 방정식 (Momentum balance equation)에 의해서 다음과 같이 주어진다.

$$(\rho_w - \rho_s) a V_r = 1/2 k q^2 \quad (3.5)$$

상승관에서의 증기분포(Steam distribution)가 일정 하다면

$$Xr = 2 a \rho_s / \rho_w \quad (3.6)$$

3.3 상태방정식

평형 방정식(Balance equation)은 상태 방정식형태로 변경할수 있다.

시스템 입력 : $P, q_r w, q_s$
상태 변수 : ρ_w, V_w, a 로 하면

$$\begin{cases} V_w \frac{d\rho_w}{dt} - \rho_w \frac{dV_w}{dt} - \rho_s V_r \frac{da}{dt} = Xr q - q_s \\ \rho_w \frac{dV_w}{dt} = q_r w - q_s \\ a V_r \frac{d\rho_s}{dt} + \rho_s V_r \frac{da}{dt} = P/h_c - Xr q \end{cases} \quad (3.7)$$

시스템 출력 : ρ_w, dl (drum level), a
 $dl = (V_w + a V_r) / A_d$ (3.9)

3.4 선형화 (Linearization)

상태 방정식(State space equation)은 정상 상태(Steady state)를 조건으로 하여 선형화 할 필요가 있다. 즉 테일러 시리즈의 근사치(Taylor series approximation)에 의하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{비선형화 모델 (nonlinear model)} \quad \dot{X} = f(X, U) \quad (3.14)$$

$$Y = g(X, U) \quad (3.15)$$

$$\delta \dot{X} = A \delta X + B \delta U \quad (3.16)$$

$$\delta Y = C \delta X + D \delta U \quad (3.17)$$

$$A = \frac{\partial f(X^0, U^0)}{\partial X} \quad (3.18)$$

$$B = \frac{\partial f(X^0, U^0)}{\partial U} \quad (3.19)$$

$$C = \frac{\partial g(X^0, U^0)}{\partial X} \quad (3.20)$$

$$D = \frac{\partial g(X^0, U^0)}{\partial U} \quad (3.21)$$

비선형 모델 식 (3.7) 을 선형화 하면

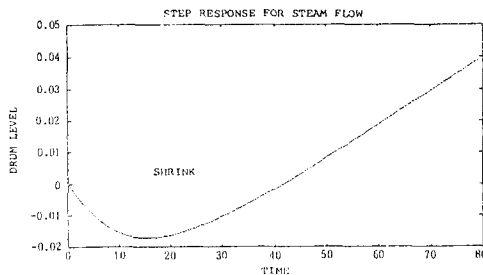
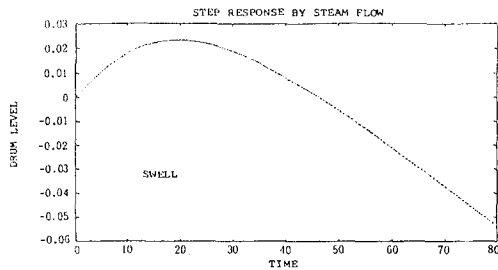
$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \delta x_3 \\ \delta x_4 \\ \delta x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a11 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ a13 & 0 & a33 \\ b11 & b12 & b13 \\ 0 & b32 & b33 \\ b31 & b32 & b33 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \delta x_3 \\ \delta x_4 \\ \delta x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta p \\ \delta q \\ \delta r \\ \delta s \\ \delta t \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \delta y_1 \\ \delta y_2 \\ \delta y_3 \\ \delta y_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c11 & 0 & 0 \\ 0 & c22 & c23 \\ 0 & 0 & c33 \\ d & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x_1 \\ \delta x_2 \\ \delta x_3 \end{bmatrix}$$

여기서 δ 는 평형상태와의 차이를 나타낸다.
즉 $\delta x_1 = x_1 - x_1^0$

3.5 수축 (Shrink) 팽창 (Swell) 현상
드럼 내에서의 압력 변동은 증기의 수축 팽창 현상을 일으킨다. 증기의 질(Quality) 변화를 일으키므로써 수위가 변하게 된다. 그런데 드럼내에서의 압력 변화는 증기량의 변화에 의해 일어나게 되므로 이를 전달함수로 표시하면

$$G(s) = K \left[-\frac{1}{s} + \frac{c}{s + \alpha} \right] \quad (3.22)$$



< 그림 3.2 > 드럼수위의 수축 팽창 현상
< Fig. 3.2 > Shrink and swell phenomena of drum level

3.6 최적제어 (19)

보일러 드럼 수위 제어 시스템

$$\dot{X} = A X + B U \quad (4.1)$$

$$Y = C X \quad (4.2)$$

목적 함수 (performance index)

$$V = \int_0^{\infty} (U' R U + X' Q_c X) dt \quad (4.3)$$

RICATTI 방정식

$$P_c A + A' P_c - P_c B R_c^{-1} B' P_c + Q_c = 0 \quad (4.4)$$

최적 이득 (Optimal gain)

$$K_c = R_c^{-1} B' P_c \quad (4.6)$$

최적 제어기

$$U^* = -R_c^{-1} B' P_c X \quad (4.5)$$

폐회로 시스템 (Close loop system)

$$\dot{X} = (A - B * K_c) X + B U$$

3.7 최적 추정기 (Optimal estimator) (19)

보일러 드럼 수위 제어 시스템에서는 상태변수 (state variable) 를 측정 할 수 없기 때문에 추정기 (estimator) 에 의하여 상태 변수를 구해야만 한다.

$$\dot{X} = A X + B U + G w \quad (4.7)$$

$$Y = C X + v \quad (4.8)$$

$$E [w] = E [v] = 0$$

$$E [w w'] = Q_r$$

$$E [v v'] = R_r$$

$$\dot{X}_w = A X_w + K_r (C X_w - Y) + B U \quad (4.9)$$

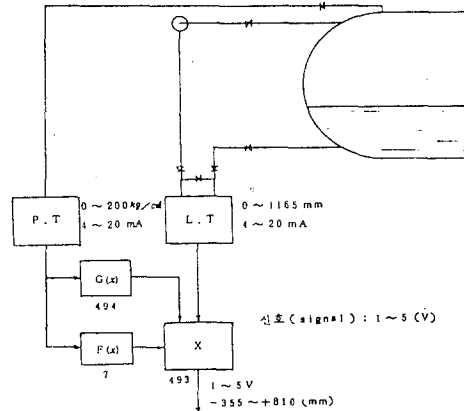
RICATTI 방정식

$$P_r A' + A P_r - P_r C' R_r^{-1} C P_r + Q_r = 0 \quad (4.10)$$

$$K_r = P_r C' R_r^{-1} \quad (4.11)$$

4. 인천화력 발전소 보일러 드럼수위 제어시스템 설계

4.1 입력 보정



※ X 모듈 (module) 내에 바이아스 (Bias)

보상을 위한 장산기가 있음.

< 그림 4.2 > 입력 보정 모듈 구성도

< Fig. 4.2 > Module block diagram for pressure compensation

4.2 인천 화력 발전소의 보일러 드럼 규격

인천 화력 발전소의 드럼(drum) 하강관(downcomer) 상승관(riser tube)의 규격

드럼 수면의 면적 : $29.396 + 2.272 = 31.668 \text{ m}^2$

상승관과 하강관에 물을 채웠을때의 물의 량 : 92 톤

드럼에 물을 채웠을때의 물의 량 : 23 톤

하강관 10 개의 물의 량 : 36.92 톤

정상 상태에서의 드럼 압력 : 180 kg/cm^2

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 31.668 \text{ m}^2 \\
 V_1 &= 92 - 36.82 = 55.18 \text{ m}^3 \\
 V_2 &= 92 + 23 = 115 \text{ m}^3 \\
 V_3 &= 23 + 2 / 3 = 15.33 \text{ m}^3 \\
 k &= 0.01 \\
 \rho_w &= 551.2933 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_b &= 128.3 \text{ kg/m}^3 \\
 h &= 1711.5833 \text{ J/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 100\% \text{ 부하에서} \\
 P &= 4.25 \times 10^9 \text{ W} & \rho_b &= 128.3 \text{ kg/m}^3 \\
 q_{fw} &= 250 \text{ kg/sec} & V_w &= 77.853 \text{ m}^3 \\
 q_s &= 250 \text{ kg/sec} & a &= 0.39537
 \end{aligned}$$

4.3 보일러 드럼 수위 시스템의 제어기 설계

100% 부하에서 A, B, C Matrix 를 구하면

$$A = \begin{bmatrix} -4.0159e-001 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -2.5692e-001 & 0 & -1.3398e-001 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1.5728e-005 & 6.2648e-003 & -3.3185e-002 \\ 0 & 1.8139e-003 & -1.8139e-003 \\ 3.4059e-003 & -1.9306e-005 & 1.0227e-004 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1.0000e+000 & 0 & 0 \\ 0 & 3.1578e-002 & 1.7425e+000 \\ 0 & 0 & 1.0000e+000 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_c = \begin{bmatrix} 1.0000e+007 & 0 & 0 \\ 0 & 9.9715e+003 & 5.5023e+005 \\ 0 & 5.5023e+005 & 4.0361e+007 \end{bmatrix}$$

$$K_c = \begin{bmatrix} 1.4929e+000 & 1.2581e-001 & 1.0935e+001 \\ 5.8852e+002 & 9.7993e+001 & 3.3316e+003 \\ -3.6948e+003 & 1.9206e+001 & 7.0188e+002 \end{bmatrix}$$

$$P_v = \begin{bmatrix} 9.4169e+004 & 2.9014e+003 & 3.4648e+005 \\ 2.9014e+003 & 6.9053e+001 & 2.3542e+006 \\ 3.4648e+005 & 2.3542e+006 & 1.6105e+008 \end{bmatrix}$$

4.4 보일러 드럼 시스템에 적용하기 위한 제어 시스템 설계
발전소의 실제 보일러 드럼 시스템은 상태변수를 측정할 수 없기 때문에 추정기를 구성해야 한다.
추정기 X_e 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_r = \begin{bmatrix} 1.1405e+001 & 7.1558e+002 & -3.5147e+001 \\ 7.1558e+002 & 6.5805e+001 & -2.2052e+000 \\ -3.5147e+001 & -2.2052e+000 & 1.0831e-001 \end{bmatrix}$$

$$R_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

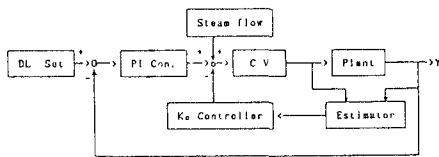
$$K_r = \begin{bmatrix} 1.0639e+002 & -3.6134e-001 & -3.2909e-001 \\ 6.7159e+000 & 4.5498e+000 & -2.1285e-002 \\ 3.2909e-001 & 1.1167e-003 & 1.0266e-003 \end{bmatrix}$$

$$P_r = \begin{bmatrix} 1.0639e+002 & 6.7159e+000 & -3.2909e-001 \\ 6.7159e+000 & 1.4526e+002 & -2.1285e-002 \\ -3.2909e-001 & -2.1285e-002 & 1.0266e-003 \end{bmatrix}$$

$$\dot{X}_e = A X_e + K_r (C X_e - Y) + B U$$

측 입력 U 와 출력 Y 를 측정하여 추정기 X_e 를 구하고, 이 X_e 보부터 K_c 를 이용하여 제어기 U^* 를 계산할 수 있다.

또한 드럼 수위 제어를 위해서는 급수량을 제어하는 수밖에 없고, 제어밸브(Control valve)의 지연요소가 있기 때문에 다음과 같은 제어 시스템을 설계할 수 있다.



< 그림 4.9 > PI제어기와 최적제어기를 이용한 제어 시스템
< Fig 4.9 > Control system using the PI and optimal controller

Control valve 의 전달 함수 = $1 / (3S + 1)$

$$\text{Plant 의 전달 함수} = \frac{0.4127 S + 0.1340}{17459 S^2 + 2339 S}$$

$$q_c = 1.0e-003 \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6208 & 0.2015 \\ 0 & 0.2015 & 0.0534 \end{bmatrix}$$

$$r_c = 1.0000e-003$$

$$q_f = \begin{bmatrix} 10000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

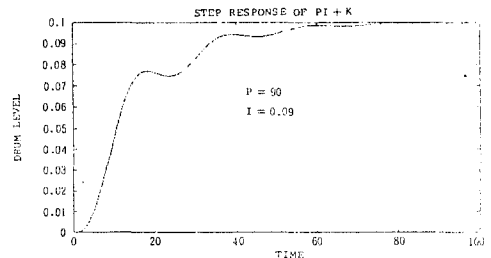
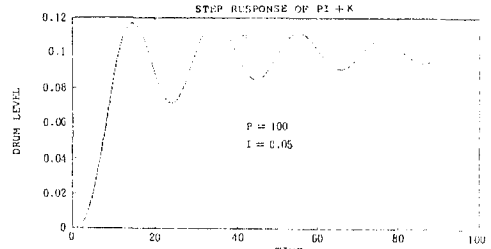
$$r_f = 0.0100$$

$$g = 1$$

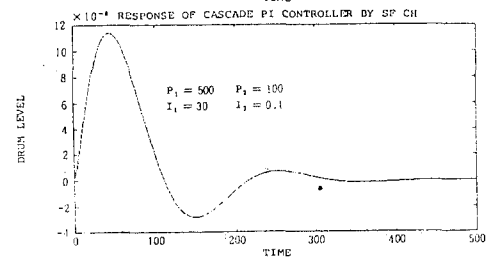
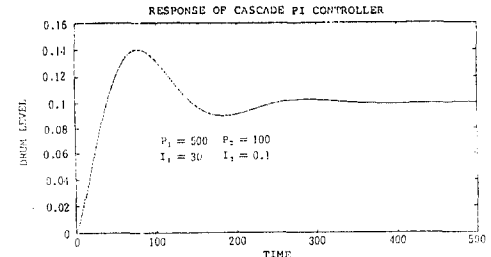
$$k_c = \begin{bmatrix} 1.1219 & 1.1536 & 0.2558 \end{bmatrix}$$

$$k_e = 1.0e+004 \times \begin{bmatrix} -0.0031 & 0.0557 \\ 0.0557 & 1.7262 \end{bmatrix}$$

PI 값 설정에 따른 최적제어기의 시뮬레이션 결과는 <그림 4.10>에 나타냈고, 인턴 T/P 의 실제 PI제어시스템 시뮬레이션 결과는 <그림 4.11>에 나타냈다.



< 그림 4.10 > PI제어기와 최적제어 시스템을 이용한 시뮬레이션 결과
< Fig 4.10 > Simulation result of PI + optimal controller



< 그림 4.11 > 인턴 T/P 실제 PI제어 시스템 시뮬레이션 결과
< Fig 4.11 > Simulation result of PI control system for Incheon T/P

비선형 Model을 적용하고 실제 보일러에서 압력은 일정하기 때문에 A11 을 무시하면 다음과 같이 간략화 할 수 있다.

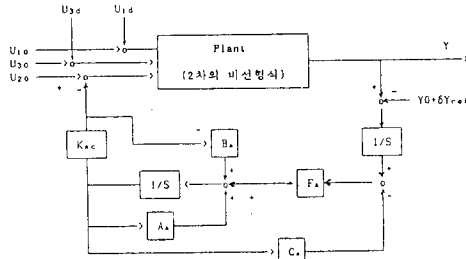
간략화한 플랜트의 2차식을 구하면

$$A = \begin{bmatrix} .00000E+00 & .00000E+00 \\ .00000E+00 & -1.33978E-01 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1.81390E-03 \\ -1.93060E-05 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 3.15776E-01 & 1.74245E+01 \end{bmatrix}$$

실제 시스템에 적용하기 위한 제어 시스템의 block 도는 다음과 같다.



< 그림 4.12 > 간략화한 제어 시스템 block 도
< Fig 4.12 > Block diagram of simple control system

플랜트에 적분기를 추가한 Augment Matrix

$$\delta \dot{X}_a = A_a \delta X_a + B_a \delta U$$

$$\delta Y_a = C_a \delta X_a$$

$$A_a = \begin{bmatrix} A & 0 \\ C & 0 \end{bmatrix} \quad B_a = \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C_a = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_a = \begin{bmatrix} .00000E+00 & .00000E+00 & 0 & 0 \\ .00000E+00 & -1.33978E-01 & 0 & 0 \\ 3.15776E-01 & 1.74245E+01 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_a = \begin{bmatrix} 1.81390E-03 \\ -1.93060E-05 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C_a = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q_{af} = \begin{bmatrix} 3.290e+01 & -3.501e-02 & .000E+00 \\ -3.501e-02 & 3.727E-02 & .000E+00 \\ .000E+00 & .000E+00 & .000E+00 \end{bmatrix}$$

$$R_{af} = 1.000E-02$$

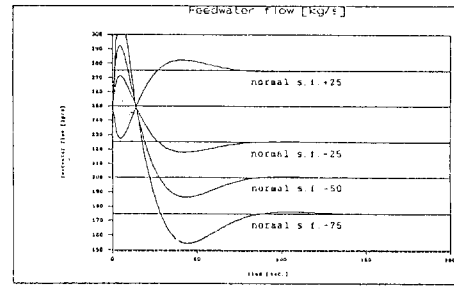
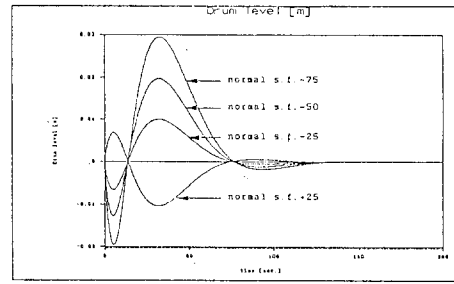
$$Q_{ac} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_{ac} = 0.01$$

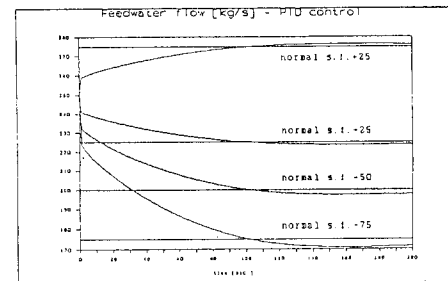
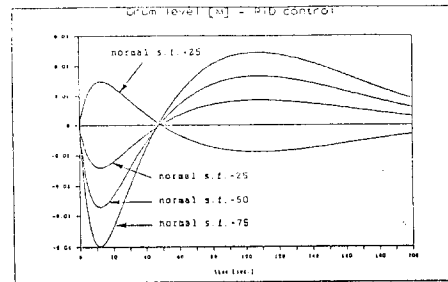
$$K_{ac} = \begin{bmatrix} 6.944E+01 & 1.160E+03 & 1.000E+01 \end{bmatrix}$$

$$F_a = \begin{bmatrix} 1.814E+02 \\ -1.836E+00 \\ 7.062E+00 \end{bmatrix}$$

Simulation 은 비선형 플랜트식을 이용 했고, < 그림 4.13 > 에서는 최적 제어시스템에서 외란(disturbance) 즉 증기량용 10% 20% 30% Step 변화 시켰을때 드럼 수위의 제어 상태와 급수량의 변화를 나타 냈고, < 그림 4.17 > 에서는 인천 화력발전소 제어 시스템의 PI 설정치를 적용한 시뮬레이션 결과이다.



< 그림 4.13 > 최적 제어 시스템에서 외란 변화에 따른 수위와 급수량제어 시뮬레이션 결과
< Fig 4.13 > Simulation result of drum level and feedwater flow by disturbance change in the optimal control system



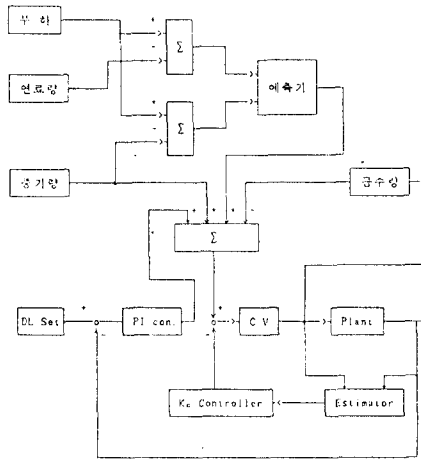
< 그림 4.17 > 인천 화력발전소 제어 시스템의 PI 설정치를 적용하여 외란에 따른 수위와 급수량 제어 시뮬레이션 결과
< Fig 4.17 > Simulation result of drum level and feedwater flow by disturbance change in the PI control system of Incheon T/P

3. Simulation 분석

<그림 4.10>에서 PI 제어를 최적제어기를 사용한 시뮬레이션 결과는 10 cm 설정치를 step으로 변경 했을때 약 90 초 후에는 드럼수위가 안정 되었고 P 값과 I 값을 결정 하는데 쉽게 구 할수 있었으나, <그림 4.11>에서 PI 제어를 cascade 로 구성하여 시뮬레이션을 했을 경우엔 400 초가 지나야만 안정되었고 P I 값을 결정 하는데 여러번의 시행 착오를 범하였다. 상기 시뮬레이션은 플랜트를 선형화한 Model 로 행한것으로써 비선형인 실제 시스템과는 다르기 때문에 <그림 4.13>에서는 플랜트를 비선형 Model 로 하고 출력 error 가 있을 때 적분하는 작분기를 설치하여 최적제어 시스템을 구성한 시뮬레이션으로써 외란(증기량)에 대해 드럼수위가 130 초 후에는 안정 되었으나, <그림 4.17>에서 PI 제어를 cascade 로 구성하여 시뮬레이션을 했을 경우엔 200 초가 지나도 안정되지 아니 하였다.

4.5 보일러 드럼 수위의 예측제어 (Predictive control) 시스템
기존의 보일러 드럼 수위제어 시스템은 3 입력 (수위, 증기유량, 급수유량) 을 중심으로 한 Cascade, Feedforward 제어방식으로 드럼수위를 제어 했으나, 보일러 드럼 모델에서 알수 있듯이 연료 에 따라서도 수위의 변화를 볼수 있었고, 증기량에 따른 증기의 수축 팽창 현상에 의하여 수위의 변화를 알수 있기 때문에 다음과 같은 예측제어기를 부가 한다.

예측제어 시스템의 block diagram 은 다음과 같다.



< 그림 4.18 > 발전소 드럼 수위 예측제어 시스템 block 도
< Fig 4.18 > Block diagram of predict control system for drum level in the power plant

5. 결론

본 논문에서는 화력 발전소에서 중요한 제어 시스템인 보일러 드럼 수위 제어 시스템을 설계 하였다. 화력 발전소 보일러 드럼은 고온 고압의 일체 탱크로서 정확한 수위측정이 어렵고 증기량의 변화에 따라 드럼 시스템의 수축 팽창 현상에 의하여 제어 하기가 어려운 시스템이다. 2장에서는 정확한 드럼 수위를 측정하기 위하여 압력 보정에 관한 시스템을 구성 했고, 3장에서는 보일러 드럼 시스템의 선형화된 모델을 분석 했으며 드럼 시스템의 수축 팽창 현상을 조사 했다. 드럼 시스템에서의 수축 팽창 현상은 증기량의 계단 변화 (Step change) 에 대하여 제어를 자동적으로 행하게 하므로써 제어 시스템을 불안정 하게 하는 요인이었다. 또한 최적 제어기 (Optimal controller) 와 최적추정기 (Optimal estimator) 에 대해 기술했고, 4 장에서는 인전 화력 발전소의 보일러 드럼 수위제어 시스템을 설계 했다. 우선 인전화력 발전소의 보일러 데이터에 의하여 A, B, C, Matrix 를 구했고, 이를 이용하여 계단 및 임펄스입력에 대한 드럼 수위의 응답을 구해서 물리적인 드럼 수위의 특성을 파악 한후, 최적 제어기를 설계하기 위하여 가중치 행렬 Qs 와 Rs 를 여러번의 시뮬레이션을 통해 적절한 값을 구했다. 시뮬레이션 결과에서의 값이 최적제어기를 사용한 결과와 PI 제어기를 사용한 결과 보다 외란에 대해 제어 상태가 양호 함을 볼수 있었다. 또한 그동안의 발전소 운전 경험과 드럼의 물리적인 특성을 연구한 결과를 이용하여 최적 예측제어에 의한 제어 시스템을 제시 하였다.

앞으로 더욱 연구되어야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 상기 제어기를 인전화력 발전소에 적용하여 입증하는 연구
- 2) 보일러 드럼의 모델을 확장시켜 상태변수를 쉽게 구 할수 있는 방법을 모색 하는 연구
- 3) 현대 제어 이론을 더욱더 연구하여 발전소 전체 시스템을 안정화 시키는 제어기를 설계 적용 하는 연구

참고문헌

- 1) K.J.ASTRÖM and R.D.BELL " A simple drum level model " Report TRIT-7163, Department of automatic control, Lund Institute of Technology, Sweden, 1979.
- 2) K.J.ASTRÖM and K.EKLUD " A simplified non linear drum boiler model " I.J.C., PP. 739-740, 1976.
- 3) K.J.ASTRÖM and K.EKLUD " A simplified non linear model of a drum boiler-turbine unit. " I.J.C., PP 145-169, 1979.
- 4) K.J.ASTRÖM and R.D.BELL " Dynamic models for boiler-turbine-alternators unit:data logs and parameter estimation for 160 MW unit " Report TRIT-3192, Department of automatic control, Lund Institute of Technology, Sweden, 1987.
- 5) B.K.SAM. " Modeling and control system design study of coal fired power plant " Ph.D dissertation, The Univ. of Texas at Austin, 1966.
- 6) J.C.DOVLE and G.STEIN, " Multivariable feedback design : Concepts for a classical / modern synthesis " IEEE Trans. Auto. control, Vol. AC-26, pp.4-16, Feb. 1981.
- 7) J.C.DOVLE " Guaranteed margins for IQ regulators " IEEE Trans. Auto. control, Vol. AC-23, pp. 756-757, Aug. 1978.
- 8) E.Soroka and U.Shaheed " On the robustness of IQ regulators " IEEE Trans. Auto. control, Vol. AC-29, pp. 664-665, 1984.
- 9) J.C.DOVLE and G.Stain " Robustness with observers " IEEE Trans. Auto. control, Vol. AC-24, pp. 607-611, 1979.
- 10) 권옥천 외 " 개선된 LQG/LTR 방법에 의한 보일러-터빈 제어 시스템의 설계 " 전기학회지 pp.199-209 2월호 1990.
- 11) ICIEM Thermal power plant #3,4 unit operation manual
- 12 " 발전소 제어 시스템의 운용관리 기술, " 한국전력공사 기술연구원 원 pp. 102-150, 1985.
- 13) J.M.Kinley, A.Lorelli, B.Sleeper, and R.Thayer " Technology assessment and development plan for instrumentation and control systems in fossil fired power plants " Bailey controls company, pp. 56-83.
- 14) Bailey Network-90 system hardware manual
- 15) Bailey Network-90 system software manual
- 16) M.M.H-Wakil " Power plant technology " McGraw-Hill book company, pp.91-95, 1984.
- 17) " Modern power station practice (Volume 6) " Pergamon press, pp.95-99, 1971.
- 18) " Steam / its generation and use " Babcock & wilcox , pp.1.5-1.9
- 19) Jhon B.Noore " Linear optimal control " Prentice Hall, Inc. pp.31-48, 1971.
- 20) S.Miyazuka, H.Kishimoto, H.Shioya, and H.Nakamura " Advanced control based on optimal regulator by distributed control system " 2th international conference improved fossile-fired power plant Nov. 1988.